

Предимства и недостатъци на съвременните технологии за съхраняване на електрическа енергия, произведена от възобновяеми енергийни източници

Иван Евтимов, Росен Иванов

Advantages and disadvantages of modern technologies for storage of electricity generated by renewable energy sources: *The paper analyzes the various modern technologies for electric energy storage. Their advantages and disadvantages in relation to environmental protection, pollution reduction and increasing the efficiency of the facilities using renewable energy sources are indicated.*

Key words: *Renewable Energy Sources, Pumped Storage Energy, Battery Storage Energy, Flywheel Storage Energy, Compressed Air Storage Energy, Electric car.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Проблемите, свързани с повишената консумация на електрическа енергия и замърсяването на въздуха при нейното производство, утвърдиха възобновяемите енергийни източници (ВЕИ), като една алтернатива за екологично производство на енергия. Постепенното нарастване на парка от електрически транспортни средства също ще създаде проблеми в натоварването на електроснабдителната система. Всичко това ще доведе до ефективно използване на произведената електрическа енергия, като реализира съхраняването ѝ през ненатоварените часове от денонощието.

Производството и използването на електрическа енергия от ВЕИ е свързано с редица неудобства. Тази енергия, особено произведената от слънчевите фотоволтаични и вятърните електроцентрали, е непостоянна през денонощието, което намалява тяхната ефективност при регулиране натоварването на електроснабдителната мрежа. Това налага същевременно с изграждането на тези електроцентрали да се търсят възможности за съхранение на произведената електрическа енергия [2, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 15], когато тя е ненужна, и освобождаване на тази енергия с определена интензивност при необходимост.

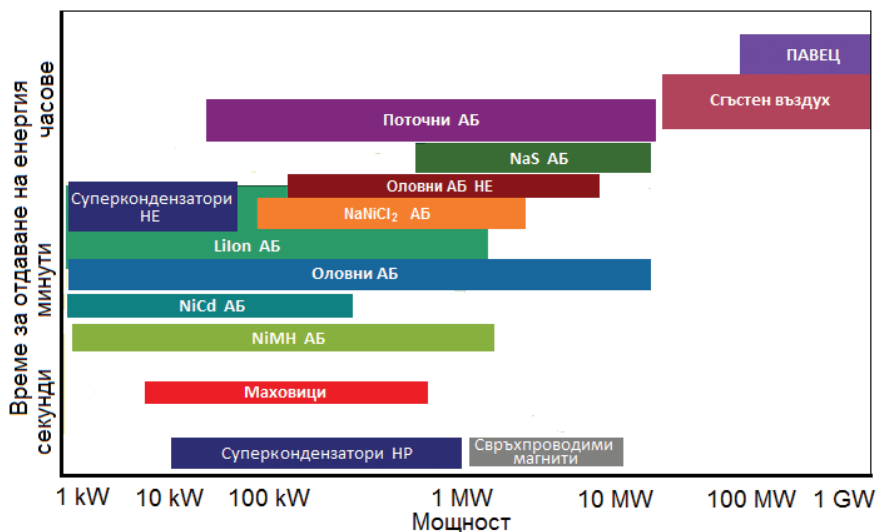
Целта на статията е да се анализират предимствата и недостатъците на съвременните технологии за съхраняване на електрическа енергия и възможностите за реализиране на техническите решение. Съхранението на електрическата енергия от ВЕИ ще повиши не само тяхната ефективност, но и ефективността на цялата енергийна система, качеството и стабилността на електроснабдяването.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Ефективните технологии, които намират приложение при съхранение на електрическата енергия, включващи различни по големина мощности и време за отдаване на енергията, са дадени на фиг. 1.

Традиционно се смята, че ПАВЕЦ и системите за компресиране на въздух са най-добри за съхраняване на вятърна и слънчева енергия. ПАВЕЦ се използват за съхраняване на енергия от невъзобновяеми енергийни източници от много години, обаче изискват подходящ релеф, редки геоложки образувания и големи капиталови инвестиции.

Използването на електрохимични и електромеханични устройства за съхранение на енергия като акумулаторни батерии, електрохимични кондензатори и маховици са обещаващи [3], поради редица причини. Например, размерът и обемът на тези устройства не е от съществено значение за съхраняване на големи количества електрическа енергия, поради това, че са стационарни съоръжения. Кондензаторите имат възможност за дълбок разряд и могат да осигурят голяма



Фиг. 1. Приложение на различни технологии за съхранение на електрическа енергия

мощност, но само за кратко време, така че тези устройства са по-подходящи за управление на качеството на електрозахранването.

Една от перспективите за съхранение на големи количества електрическа енергия е използването на т.нар. „поточни акумулаторни батерии“ [13]. Като с най-голяма перспектива се считат ванадиевите батерии (vanadium redox flow batteries - VRFB). Изборът на метод за съхраняване на енергия зависи от средата, в която се прилага и от редица други условия.

Според скоростта на отдаване на енергията технологиите за съхранение на енергия най-често се разделят на три категории [3].

Първата категория от технологиите за съхранение на енергията се отнася до редица спомагателни дейности, които не поставят изисквания за дългосрочно подаване на енергия. Например за управление на качеството на енергоподаването се изисква често да се реагира за части от секундата за регулиране на краткотрайни смущения, преходни процеси и честота.

Времето за отдаване на енергия може да продължи от няколко секунди, максимум до 10 минути, с ясно изразен цикличен характер. Примери за такива технологии са маховиците, кондензаторите и системите за съхранение на енергия със свръхпроводими магнити (фиг.1).

При втората категория се отнасят тези технологии, които могат временно да подават енергия в рамките на около час. При тях също се изисква да се реагира сравнително бързо, но се характеризират с по-малката си цикличност. Това са различните видове акумулаторни батерии като оловно-киселинни, никел-кадмиеви, никел-металхидридни и литий-йонни. Те също могат да реагират бързо и да се използват за регулиране на честота, но цикличността на заряд-разряд силно скъсява експлоатационния им срок.

Третата категория технологии за съхранение на енергията се отнася до оптимизиране на енергоподаването за по-дълги периоди от денонощието. Това са технологии с реализиране на големи мощности, с голям енергиен капацитет и се характеризират с продължително време на връщане на натрупаната енергия - от порядъка на часове. Технологиите за такива приложения са някои видове

акумулаторни батерии, ПАВЕЦ, съоръженията със сгъстен въздух и термичното съхранение на енергия.

Помпено-акумулираща водноелектрическа централа (ПАВЕЦ)

Тази технология е най-разпространена в световен мащаб, с инсталирана мощност над 120 GW. Същността ѝ се състои в изпомпване на водата от по-нисък в по-висок водоем. Когато енергийната система не е натоварена (има излишни производствени мощности), водата от долния водоем се изпомпва чрез водни турбини обратно в горния водоем. При натоварване на електроенергийната система, изпомпваната вода се пуска обратно по тръбопровод към долния водоем като задвижва турбина, а тя от своя страна завърта генератора. За тази цел се използват агрегати, които могат да работят в два режима – като водни турбини при генериране на електрическа енергия и водни помпи при изпомпване на водата. Така се акумулира излишната електрическа енергия и се изглаждат големите колебания в електроенергийната система. Ефективността от използването на ПАВЕЦ нараства особено, когато ВЕИ са близо до нея. Разходите за изграждане на електропреносната мрежа и загубите при пренасяне на енергията са по-малки. Ефективността на преобразуването на енергията при използване на тази технология може да достигне 75 – 80 % [1, 3, 12].

Основен недостатък е високата цена на първоначалната инвестиция и необходимостта от подходящ релеф на местността. Основните предимства на ПАВЕЦ са:

- най-гъвкави са от всички технологии при непрекъснати стартиращи и спиращи режими, без да влияят значително върху ресурса на оборудването;
- скоростта, с която се изменя натоварването, е висока - приблизително за минута може да се достигне 100 % натоварване на системата;
- може да работи с минимално натоварване дори под 10 % от инсталираната мощност;
- не се отделят вредни емисии, които да замърсяват околната среда;
- броят на циклите (преминаване от режим на генериране на енергия в режим на съхранение) е практически неограничен;
- за разлика от обикновените ВЕЦ на язовири, тук водата не се губи, а само циркулира между двата водоема.

Поради отрицателното въздействие на ПАВЕЦ върху околната среда (както при изграждането, така и при експлоатацията им), се търсят други технически решения.

Съхранение на енергия чрез сгъстен въздух

Съхранението на енергия чрез сгъстен въздух (Compressed Air Energy Storage-CAES) се използва повече от 30 год. Първият патент е регистриран през 1948 год., а първата система за съхранение на енергия чрез сгъстен въздух е инсталирана в Германия през 1978 год., с мощност 290 MW. За резервоари, където се съхранява компресираният въздух, се използват херметични подземни кухни - неработещи солни мини или газови находища [6, 7, 8]. Когато има излишък на електрическа енергия, въздухът се нагнетява в подземните резервоари и при необходимост се изпуска, подгръва се и се смесва с гориво за задвижване на газова турбина, която използва 40 % по-малко гориво в сравнение с конвенционалните природни газови турбини [10].

Съхранението на енергия чрез сгъстен въздух може да се реализира по два начина - чрез изотермично и адиабатно сгъстяване на въздуха.

При изотермичното съхранение на електрическа енергия топлината, която се получава при нагнетяване на атмосферния въздух, не се оползотворява. Тя просто се изхвърля в околното пространство. Съхраненият сгъстен въздух се използва за производство на електрическа енергия със значително по-малък разход на гориво.

Електрическата машина е обратима и в зависимост от режима на работа се включва съответно като електродвигател или генератор.

За разлика от изотермичния, при адиабатния цикъл за съхранение на електрическа енергия със състен въздух (Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage Cycle - AA-CAES) отпада необходимостта от изгаряне на гориво за подгриване на състения въздух. Това се дължи на съхранената топлинна енергия в специални устройства през време на компресирането на атмосферния въздух, т.е. съгъстяването на въздуха се реализира без да се отдава топлина в околната среда. Компресирането на въздуха се извършва, когато енергийната система не е натоварена, обикновено през нощта. Тези системи не произвеждат и не изхвърлят никакви вредни емисии в атмосферата, поради липсата на горивни процеси. За системи с мощност над 100 MW се очаква ефективността да бъде в границите от 60 до 75 %, но засега няма изградени такива.

Непрекъснато нарастващото търсене на чиста, екологична и надеждна енергия е наложило необходимостта от задълбоченото изследване на AA-CAES системи. Главно трудностите възникват при разработването на компресори, които да могат да работят при температура над 600 °C при налягане от 6 до 7 MPa и устройства за съхранение на топлинната енергия с минимални загуби. AA-CAES се явяват доразвиване на системите CAES.

Съхранение на енергия чрез използване на акумулаторни батерии

Голяма част от електрическата енергия се съхранява в различни видове акумулаторни батерии във формата на химическа енергия [3, 4, 8, 9, 13]. В тях протичат химични реакции, вследствие на което се генерира електрически ток. Тенденцията в развитие на акумулаторните батерии за съхранение на електрическа енергия е в няколко направления:

- висока енергийна плътност;
- бързо зареждане и разреждане;
- повишен к.п.д. при съхраняване и отдаване на енергията;
- лесно обслужване;
- увеличен брой цикли зареждане-разреждане;
- по-малко влияние на капацитета им от температурната среда;
- по-малко въздействие върху здравето на обслужващия персонал и околната среда.

Акумулаторните батерии, в които се съхранява електрическата енергия са:

- конвенционалните оловно-киселинни батерии;
- съвременни оловно-киселинни акумулатори (Advanced Lead-Acid Batteries) с използване на въглеродни добавки;
- никел-кадмиевите акумулаторни батерии;
- литий-йонните акумулаторни батерии;
- натрий-сярни акумулаторни батерии;
- поточните акумулаторни батерии.

През последните години производството на литий-йонните батерии се усъвършенства непрекъснато. Вече се въвеждат нови технологии, при които се създават нови прототипи с по-добри характеристики по отношение на срок на експлоатация, капацитет и безопасност. Търсят се начини за подобряване устойчивостта на акумулаторните батерии срещу възпламеняване при висока температура или удар, чрез използване на заместители на кобалтовия оксид, като литий-железен фосфат (LiFePO₄) в комбинация на минимални количества с други метали.

Технологията на производство и подходящите характеристики дават основание за приложение с големи мощности за съхранение на електрическа енергия, произведена от слънчеви и вятърни електроцентрали.

Конвенционалните акумулаторни батерии представляват една електрохимична система, която преобразува химична в електрическа енергия. Те съхраняват своите активни материали в отделните акумулатори (клетки), където протичат химични реакции с физични и химични промени, както на електродите, така и на електролита.

Поточните акумулаторни батерии биват два вида: редокс (redox) и хибридни.

Поточните акумулатори, в които всички електроактивни материали са разтворени в течния електролит, са известни като тип редокс. При хибридните поточни акумулаторни батерии някои от електроактивните материали са разтворени в течния електролит, а други – в електродите на акумулаторната клетка. Като пример могат да послужат цинк-бромните и цинк-хлорните батерии, в които цинкът е включен в електродите, а хлорът или бромът са разтворени в електролита. Както при конвенционалните батерии, енергийният капацитет на тези хибридни поточни батерии зависи от размера на електроактивните материали, които могат да се съхраняват в електродите на батерията. Това ограничава техните предимства.

Ванадиевата поточна акумулаторна батерия (Vanadium redox flow battery – VRFB) е една обещаваща технология за съхранение на електрическа енергия от ВЕИ. Липсата на замърсяващи метали дава възможност тази батерия да оказва най-ниско екологично въздействие от всички технологии на съхранение, на базата на акумулаторни батерии.

Суперкондензатори

Наименованието суперкондензатори се отнася за кондензатори, които имат много голям капацитет. Те могат да съхраняват много по-голямо количество електрическа енергия в даден обем [3, 5, 15].

Суперкондензаторът съхранява и отдава електрическа енергия чрез процеси, без химични реакции. Най-масово намират приложение т.н. двуслойни суперкондензатори (Electric Double Layer Capacitor - EDLC).

Предимствата на суперкондензаторите спрямо акумулаторните батерии са следните:

- осигуряват над 10 пъти по-голям ток;
- броят на циклите заряд-разряд е три порядъка по-голям от този на акумулаторите;
- нямат нужда от поддържане;
- много по-бързо зареждане в сравнение с акумулаторите;
- възможност за пълно разреждане и съответно отдаване на цялата натрупана електрическа енергия;
- висока специфична мощност – над 6 kW/kg при 95 % ефективност;
- електрическият заряд практически не намалява при ниски температури;
- напълно безопасни за околната среда, поради липсата на отровни вещества.

Основните недостатъци са:

- около 10 пъти по-малка плътност на енергията, което означава по-голям обем за съхраняване на дадено количество енергия;
- съществено намаляване на напрежението в процеса на разреждане.

Маховици

Маховиците са устройства за акумулиране на кинетична енергия чрез завъртане на маховика от електродвигател [3, 5, 15]. За намаляване загубите от въздушното съпротивление, въртенето на ротора се осъществява във вакуумна среда. Това от своя страна изисква въртенето на ротора да става на магнитни лагери. Така конструктивно разработените системи имат много ниски ротационни загуби, което позволява системата да достигне ефективност от 90%.

Системата с маховици може да реагира само за 4 s при промяна на съотношението между потребление и производство на енергия. Максималното време, през което може да отдава електрическа енергия е 15 min.

Повечето маховици имат голяма продължителност на работа и високи стойности на плътността на съхранената енергия $\sim 130 \text{ Wh/kg}$, както и голяма максимална изходна мощност. Енергията може да се отдели на порции и то за кратко време. Често се използват при импулсни токозахранвания, където това е необходимо.

Като източници на енергия маховиците имат още няколко предимства. Най-важното от тях е високата специфична мощност. Теоретично е доказано, че специфичната мощност на маховиците е в границите от 5 до 10 kW/kg , а действително може да се реализира специфична мощност до 2 kW/kg .

Други предимства са:

- не се влияят от температурните промени, както акумулаторните батерии;
- не замърсяват околната среда;
- притежават отлична управляемост и постоянни с времето характеристики;
- способност да акумулират или освобождават голямо количество енергия за кратък период от време;
- по-точно отчитане на акумулираната в тях енергия;
- по-малко време за зареждане с енергия (около 10 min);
- висок к.п.д. – от 80 до 90 %;
- дълъг живот.

Към недостатъците на маховиците могат да се отнесат допълнителното оборудване, необходимо за нормалната работа – осигуряване вакуумна камера за намаляване загубите от въздушното съпротивление и използването на магнитни лагери. Освен това тази вакуумна камера трябва да изпълнява ролята и на защитен кожух, в случай че настъпи разрушаване на маховика. При маховиците, направени от въглеродни влакна, материалът се разпада под формата на прах.

Свърхпроводящи магнити

Свърхпроводящите магнити (Superconducting Magnetic - SM) са системи за съхранение на енергия, в които тя се запазва в магнитно поле с помощта на свърхпроводяща намотка [3, 5, 15]. Последната е криогенно охладена. По този начин магнитната енергия може да се съхранява за неопределено време. Свърхпроводящата намотка се изработва от ниобий-титанови сплави и се охлажда с помощта на втечен хелий или азот.

Предимствата тези системи се състоят в това, че нямат никакви загуби на енергия, поради липса на вътрешно съпротивление, и съхранената енергия не се разсейва в топлина. Освен това съхранената енергия може да се отдаде почти мигновено.

Експлоатационният срок на свърхпроводящите магнити не зависи от броя цикли, поради липсата на движещи се части. Имат ефективност над 95 %.

Към недостатъците на свърхпроводящите магнити могат да се отнесат високата себестойност и големите енергийни изисквания за охлаждане на системата. Освен това трябва да се посочи отрицателното въздействие на огромните магнитни полета, което по някакъв начин трябва да бъде отстранено.

Термично съхраняване на енергия

Термичното съхранение на енергия и конвертирането ѝ в електрическа намира приложение през последните години при използване на концентрирана слънчева енергия [14]. Намират приложение следните системи за термично съхранение на енергия:

- системи с директно съхранение на топлинна енергия;
- системи индиректно съхранение на топлинна енергия;
- системи с един резервоар.

При системи с директно съхранение на топлинна енергия, наречени още Two-Tank Direct System, топлинната енергия от слънчевата радиация се съхранява с помощта на работен флуид в два резервоара. В единия резервоар се съхранява

работния флуид с висока температура, а в другия – с ниска температура. Като работен флуид се използва разтопена сол. Предимството при използването на разтопената сол, като топлинен метод за съхранение на енергия, е, че има способността да съхранява топлинната енергия приета в слънчевата кула много по-дълго време, отколкото нагрятата вода, и да я отдава при генериране на електричество в неслънчеви дни или през нощта. Най-широко приложение намира смес от разтопена сол на натриев нитрат, калиев нитрат и калций. Тази смес не гори и не е токсична. Тя е много добър енергиен посредник – остава течна при атмосферно налягане и се среща навсякъде в природата. Намира приложение и в други области с цел пренасяне на топлинна енергия.

Разтопената сол се втвърдява при 220 °С. Търсят се възможности за разработването на смеси от соли, които да се втвърдяват при по-ниска температура – около 100 °С. Това ще позволи процесите в системите да се управляват по-добре.

При системите с индиректно съхранение на топлинна енергия, наречени още Two-Tank Indirect System, се използват два различни флуида като енергиен посредник. Системата е по-сложна и по-скъпа. Допълнително се вгражда още един теплообменник. Единият флуид, който се използва, е минерално масло. То циркулира в първия затворен кръг. Другият флуид - разтопена сол, циркулира във втория затворен кръг. Минералното масло (първият флуид) отдава топлинната си енергия на разтопената сол (вторият флуид) чрез теплообменник. Чрез втори теплообменник разтопената сол произвежда пара за задвижване на парна турбина. Последната предава механичната си енергия на генератор, който я преобразува в електрическа.

При разработването на дадена технология се търсят възможности за реализирането ѝ с колкото може по-малко капиталовложения. Технологиите за съхраняване на енергия с два резервоара се оскъпяват. Това налага търсенето и прилагането на технологии за съхраняване на енергията с помощта на един резервоар.

Засега с по-големи възможности за приложение са две технологии.

При първата технология резервоарът се запълва с насипни твърди материали, най-често кварцов пясък. Входът и изходът на работния флуид с висока температура е в горния край на резервоара, а на флуида с ниска температура – в долния край. Топлият и студеният флуид са разделени с един слой имащ висок температурен градиент. Тези системи с един резервоар са известни като Single-Tank Thermocline System.

Втората технология съхранява топлинната енергия чрез промяна на агрегатното състояние на веществата (Phase-change materials - PCMs). Всяко вещество при определено налягане и температура може да промени агрегатното си състояние (твърдо – течно - газообразно). При промяна на агрегатното състояние, голямо количество топлинна енергия, може да се съхранява или освобождава при почти постоянна температура.

Съществуват и други технологии, които са в начален стадий на експериментиране, като съхраняване на топлинната енергия в бетон, чакъл, керамика и др. Търсенето на различни технологии за съхраняване на топлинната енергия потвърждава всеобщото мислене за големите възможности за използване на енергията от ВЕИ.

Водородно съхраняване на енергията

Тази технология е свързана с производството на водород, чрез електролиза при ненатоварена електроснабдителна система.

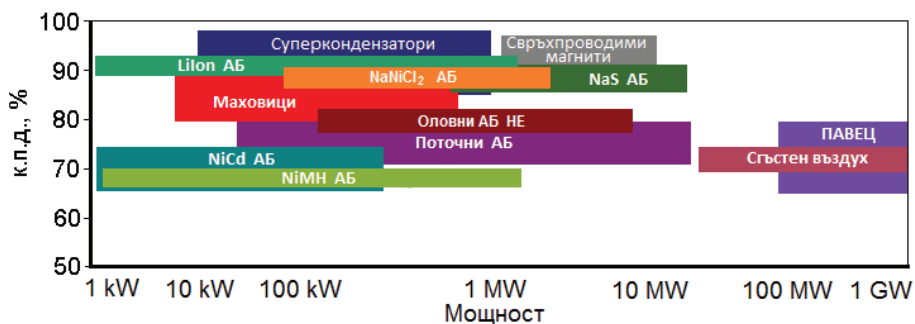
Съхраняване в акумулаторните батерии на електромобили

При нарастване броя на електромобилите, зареждането на акумулаторните батерии ще оказва както положително, така и отрицателно въздействие върху електроснабдителната система. В тях може да се съхранява огромно количество

електрическа енергия. Това налага създаване на една система, която да осъществи регулирането на този процес. Например, ако в дадена държава електромобилите са 10 % от автомобилния парк, то зареждането на акумулаторните им батерии трябва по някакъв начин да бъде реализирано без претоварване на електроснабдителната система. Акумулаторните батерии, които се използват в електромобилите могат да съхранят в себе си от 9 до 36 kWh електрическа енергия. Ако в България електромобилите станат 300 000, то те ще съхраняват в себе си около 6 000 MWh при средно 20 kWh енергозапасеност на акумулаторните батерии. Това означава, че ако всички акумулаторни батерии се зареждат едновременно, ще е необходимо една електрическа централа с мощност 1 000 MW (по толкова са мощностите на реакторите от 5-ти и 6-ти блок на АЕЦ „Козлодуй“) да произвежда електрическа енергия с пълната си мощност в продължение на 6 h.

Този пример показва, че е възможно, когато е необходимо, да се използва тази енергия в акумулаторните батерии за регулиране на токоварването на електроснабдителната система. Това може да се реализира чрез връщането на съхранената енергия обратно в мрежата или използването ѝ от домакинствата, притежаващи електромобил. Възниква обаче необходимостта от управлението на процеса на връщане на енергия, а това ще изисква в бъдеще не само организационни мерки.

На фиг. 2 са дадени к.п.д. на някои от системите за съхранения на електрическа енергия.



Фиг. 2. Ефективност на някои от системите за съхранение на електрическа енергия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направения анализ за предимствата и недостатъците на различните технологии и системи за съхранение на електрическа енергия, могат да се направят следните изводи:

1. На този етап от развитието на съвременните технологии за съхранение на електрическата енергия най-голямо приложение намират:

- помпено-акумулиращите водноелектрически централи;
- системите за компресиране на въздух;
- различните видове акумулаторни батерии.

2. Термичното съхранение на енергия и конвертирането ѝ в електрическа намира приложение през последните години при използване на концентрирана слънчева енергия.

3. От поточните акумулаторни батерии, ванадиевата батерия е една обещаваща технология за съхранение на електрическа енергия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изразяват своята благодарност на *Knight-Staneva Foundation for Sustainability and Future Environments* за оказаната финансова помощ и предоставена литература.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Калчевски Станимир. Възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), вторични енергийни ресурси (ВЕР) и съвременни аспекти при тяхното оползотворяване. Част 1, София, Издателство „Авангард Прима“, ISBN: 978-954-323-986-3, 2012, 376 стр.
- [2]. Калчевски Ст., Пл. Угринов, П. Кънчев. Възобновяеми източници и акумулиране на топлинната енергия. Енергиен Форум, ISSN 1313-2962, бр. 7/8, 2012, 30-33 стр.
- [3]. Технологии за съхранение на енергия. Списание "Енергия", брой 6, 2011.
- [4]. Battery Energy Storage System (BESS).
<http://www.pdceng.com/battery-energy-storage-system-bess>.
- [5]. Bent Sorensen. Renewable energy. Conversion. Transmission and Storage, 2007, pp. 327.
- [6]. Energy storage: CAES ready to go main stream.
<http://integrating-renewables.org/integrating-renewables-technology-solutions/>
- [7]. Energy Storage for Offshore Wind Turbines.
<http://salientwhiteelephant.wordpress.com/category/offshore-wind-turbine/>.
- [8]. Energy Storage Innovations.
<http://islandbreath.blogspot.com/2010/04/energy-storage-innovations.html>.
- [9]. Energy Storage and Solar Power.
<http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-report/solar-report/energy-storage-and-solar-power.html>.
- [10]. Energy Storage in Utah: New Report Calls for CAES.
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/blog/post/2010/12/energy-storage-in-utah-new-report-calls-for-caes>.
- [11]. Energy Storage Systems – Projects.
http://www.sandia.gov/ess/projects_home.html.
- [12]. Eric Wesoff. Gravity Power's New Take on Pumped-Hydro Energy Storage, Greentehgrid, November 9, 2010.
- [13]. Flow Batteries. <http://electrochem.cwru.edu/encycl/art-b03-flow-batt.htm>
- [14]. Ibrahim Dinger, Marc A. Rosen. Thermal Energy Storage. Systems and Applications, II Edition, Wiley and Sons Ltd, ISBN: 978-0-470-74706-3, 2011, pp. 599.
- [15]. Marcelo Gustavo Molina. Dynamic Modelling and Control Design of Advanced Energy Storage for Power System Applications. ISBN: 978-953-7619-68-8.

За контакти:

Доц. д-р Иван Евтимов, катедра „Двигатели и транспортна техника“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 527, e-mail: iewtimov@uni-ruse.bg

Доц. д-р Росен Иванов, катедра „Двигатели и транспортна техника“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 528, e-mail: rossen@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.